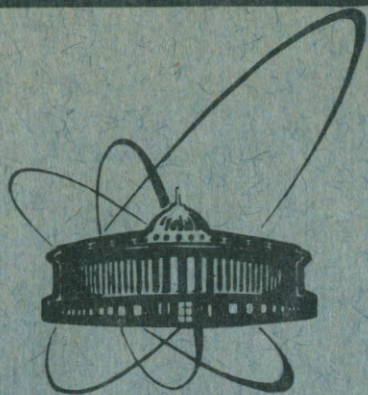


91-251



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

13-91-251

Л. Г. Афанасьев, В. В. Карпухин, В. И. Комаров,
В. В. Язьков*

ШИРОКОАПЕРТУРНЫЙ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ
ГОДОСКОП НА ФЭУ-85

*Научно-исследовательский институт ядерной физики
МГУ, Москва

1991

Описан сцинтилляционный годоскоп для регистрации заряженных частиц, содержащий 48 счетчиков, выполненных на фотоумножителях ФЭУ-85. Система блоков в стандарте КАМАК регистрирует разность времен срабатывания счетчиков, а также их номера. Специальный аппаратный процессор отбирает информацию по номерам сработавших счетчиков. Процедура обработки данных позволяет компенсировать индивидуальные задержки счетчиков и время собирания света в сцинтилляторе. Разность времен измеряется с точностью $\sigma_t = 0,8$ нс.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1991

Перевод авторов

A scintillation hodoscope for charged particle detection is described. The hodoscope has 48 counters with photomultipliers FEU-85. A set of CAMAC blocks registers numbers of hit counters and a time interval between signals. A data processing includes a compensation of delays in different channels and a light collection time in the scintillator. The time interval is measured with the accuracy $\sigma_t = 0.8$ ns.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1991

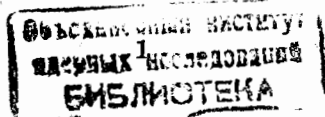
В эксперименте по наблюдению атомов, состоящих из π^+ и π^- мезонов^[1], основной фон составляют случайные совпадения. Поэтому временное разрешение установки является важным параметром. В данной работе описан сцинтилляционный годоскоп, состоящий из 48 счетчиков, выполненных на фотоумножителях ФЭУ-85, используемый для измерения разности времен прохождения двух частиц. Система электронных блоков позволяет регистрировать номера сработавших счетчиков и отбирать информацию на основании этих данных. Описана процедура определения задержек сигналов от каждого счетчика и компенсации времени собирания света в сцинтилляторе.

Конструкция годоскопа

Годоскоп работает в составе двухплечевого магнитного спектрометра установки "ПОЗИТРОНИЙ" на ускорителе У-70 ИФВЭ^[2]. Годоскоп состоит из двух независимых частей по 24 счетчика. Размер чувствительной области определяется апертурой установки и составляет 1200x410 мм для каждого плеча спектрометра. Счетчики, входящие в годоскоп, полностью независимы и имеют сцинтилляторы размером 430x48x20 мм (20 мм по пучку). Сцинтилляторы просматриваются фотоумножителем с одной стороны через световод длиной 10 см. ФЭУ располагаются в железных контейнерах с дополнительной магнитной защитой из многослойного отожженного пермаллоя. Счетчики в годоскопе расположены вертикально. Схема размещения годоскопа в установке приведена на рис. 1.

При выборе делителя для ФЭУ-85 существенными являлись требования:

- 1) Амплитуда сигнала с ФЭУ должна быть достаточной для работы формирователей без предварительного усиления сигнала непосредственно после ФЭУ.



2) Наилучшее временное разрешение годоскопа.

3) Стабильность амплитуд сигналов при загрузках до 10^5 частиц/сек на один счетчик.

4) Изготовление делителей без отбора деталей и получение нужных параметров счетчиков вне зависимости от индивидуальных свойств ФЭУ.

Применение ФЭУ-85 для временных измерений рассматривалось в работах [3,4], авторами которых предложены варианты делителей. Было выполнено сравнение этих делителей и паспортного делителя с использованием светодиодов. Измерения показали, что наиболее полно удовлетворяет всем требованиям паспортный делитель ФЭУ-85 с основным звеном $R = 160$ кОм и $C = 47$ нФ.

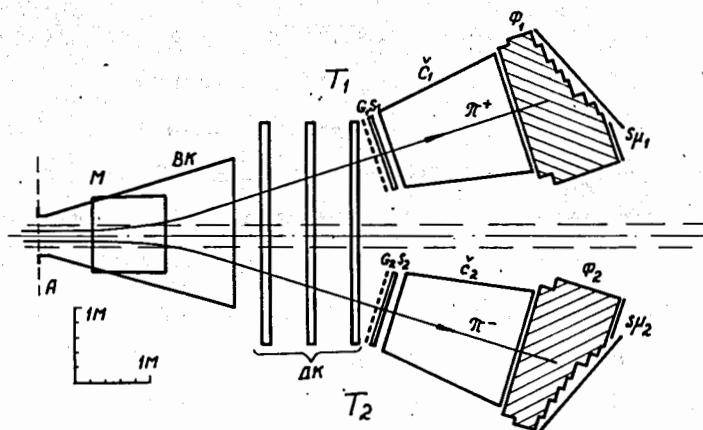


Рис.1. Схема установки: М - спектрометрический магнит, ВК - вакуумная камера канала, ДК - дрейфовые камеры, Т1 и Т2 - телескопы, состоящие из годоскопа $G_{1(2)}$, сцинтилляционного счетчика $S_{1(2)}$, газового черенковского счетчика $X_{1(2)}$, железного фильтра $\Phi_{1(2)}$ и сцинтилляционного счетчика $S_{M1(2)}$.

Измерение параметров одного счетчика годоскопа проводилось на пучке вторичных частиц ускорителя У-70. Счетчик годоскопа включался в совпадения с двумя сцинтилляционными счетчиками размером 45x45 мм. Это позволило исключить влияние координаты прохождения частицы на временное разрешение. Электронная схема измеряла разность времен срабатывания двух счетчиков и амплитуду сигнала. По дисперсии разности времен для каждой пары из трех счетчиков вычислялось временное разрешение счетчика годоскопа. В результате измерений определены следующие параметры одного счетчика годоскопа:

1) Разрешающее время: $\Delta t = 1,5$ нс (ширина на полувысоте).

2) Амплитуда сигнала от релятивистских частиц при напряжении питания, соответствующем анодной чувствительности ФЭУ 100 А/лм, на нагрузке 50 Ом составляет 120 ± 200 мВ.

3) Ослабление сигнала с дальнего от ФЭУ конца счетчика не более 30%.

Электронная схема годоскопа

Электронная схема годоскопа выполняет следующие функции.

1. Использует результаты анализа данных годоскопа при формировании триггера установки.

2. Регистрирует номера сработавших счетчиков годоскопа.

3. Измеряет разности времен прохождения частиц в двух плечах годоскопа или разность времен прохождения двух частиц в одном плече.

4. Выполняет аппаратный отбор событий, в которых разность номеров сработавших счетчиков в двух плечах спектрометра находится в заданных пределах.

5. Измеряет амплитуды сигналов годоскопа.

Электроника годоскопа (рис.2) состоит из специально разработанных блоков в стандарте КАМАК: К407 – формируватель, К408 – регистр, К409 – процессор, и стандартных блоков КАМАК, изготовляемых в ЛЯП ОИЯИ: КА010 – преобразователь заряд-код^[5], КА303 – преобразователь время-код, КЛ360 – мажоритарная схема совпадений^[6].

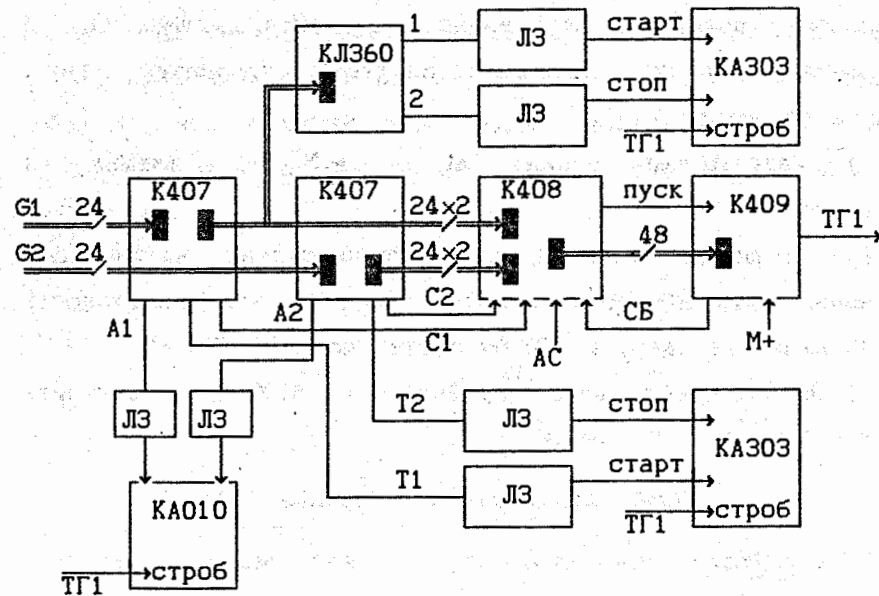


Рис.2. Блок-схема электроники годоскопа.

Сигналы со счетчиков двух плеч годоскопа G1 и G2 поступают на входы блоков К407. Блок К407 состоит из 24 формирувателей, линейного сумматора входных сигналов и формирувателя точной временной привязки, подключенного к выходу сумматора. Аналоговая сумма входных сигналов подается

на выход А1(А2) для амплитудного анализа. Сигнал точной временной привязки с выхода Т1(Т2) поступает через линию задержки ЛЗ на время – цифровой преобразователь КА303, который измеряет разность времен между сигналами Т1 и Т2 с I и II плеча годоскопа. Сигнал логической суммы подается на выход С1(С2) для стробирования данных в регистре К408.

Нулевой уровень на выходе линейного сумматора стабилизируется операционным усилителем, включенным в цепь обратной связи сумматора, что позволяет уменьшить влияние нестабильности источников входных сигналов на режим работы сумматора. Постоянная интегрирования в цепи обратной связи $\tau_n = 5$ мин.

Порог срабатывания формирувателей регулируется в пределах 10 – 250 мВ. Точность временной привязки по канал суммирования $\Delta t = \pm 150$ нс. Ширина блока 2М.

По сигналам С1 и С2 данные с обоих плеч годоскопа заносятся в регистры блока К408. В зависимости от режима работы блока запись в соответствующие регистры производится по сумме сигналов С1 и С2, или при их совпадении в пределах заданного времени (10–30нс). Вход АС используется в режиме ожидания подтверждения приема данных: регистры будут сброшены, если сигнал на этот вход не поступит в интервале $T_w = 100 \div 400$ нс. Записанные в блок данные могут быть считаны

как по шине КАМАК, так и по внешней шине. Блок К408 содержит два 24-разрядных регистра. Входы ЭСЛ –парафазные, выходы ЭСЛ – логической 1 соответствует низкий уровень, ширина блока 2М.

Процессор К409 считывает данные из регистров и определяет, выполняется ли условие $|A-B| \leq C$, где А – номер одного из сработавших счетчиков первого плеча годоскопа, В –

номер счетчика во втором плече годоскопа, $8 \geq C \geq 0$. При положительном решении процессор ожидает в течение времени $T_w = 100-400$ нс прихода сигнала триггера нулевого уровня $M+$. Если сигнал $M+$ появляется в интервале T_w , то вырабатывается триггер установки первого уровня (ТГ1). При отрицательном решении или отсутствии $M+$ вырабатывается сигнал быстрого сброса СБ регистра К408 и блокируется вход $M+$. Процессор выполнен на основе сдвиговых регистров. Время принятия решения 100 нс.

Для измерения разности времен при регистрации двух частиц в одном плече годоскопа данные с блока К407 разветвляются и поступают на вход мажоритарной схемы совпадения КЛ360. Сигналы с выходов кратности 1 и 2 через линии задержки ЛЗ поступают на входы "Старт" и "Стоп" время-цифрового преобразователя КА303.

Определение разрешающего времени годоскопа

При обработке данных с годоскопа выполнялась коррекция разности времен прохождения двух частиц, учитывающая индивидуальные задержки сигналов от каждого счетчика и время собирания света в сцинтилляторе.

Индивидуальные задержки каждого счетчика определялись по специально набранной для этого информации. Спектрометр регистрировал истинные совпадения e^+ и e^- в двух плечах. Аппаратным образом отбирались только те события, у которых треки e^+ и e^- имели близкие значения вертикальных координат ($\Delta Y \leq 22$ мм).

Индивидуальные задержки определялись с помощью процедуры, основанной на методе наименьших квадратов (МНК).

Рассматривается сумма:

$$S = \sum_{i=1}^{24} \sum_{j=j_1}^{j_2} (Z_{2j} - Z_{1i} - \Delta t_{ij})^2. \quad (1)$$

Здесь Z_{1i} - задержка i -го счетчика в I плече, Z_{2j} - задержка j -го счетчика во II плече, Δt_{ij} - экспериментально определенная средняя разность времен при срабатывании i -го счетчика в I плече и j -го во II.

$$\Delta t_{ij} = \frac{1}{N_{ij}} \sum_{k=1}^{N_{ij}} T_{ijk}, \quad (2)$$

где N_{ij} - количество срабатываний данной пары счетчиков, T_{ijk} - разность времен при k -м срабатывании. Пределы внутренней суммы в (1) j_1 и j_2 зависят от i и определялись интервалом номеров счетчиков отбираемых процессором годоскопа во время набора информации.

Сумма (1) достигает минимума при истинных значениях Z_{nl} ($n=1,2, l=1,24$). Дифференцируя S по Z_{nl} , получаем систему линейных уравнений

$$\frac{\partial S}{\partial Z_{nl}} = 0. \quad (3)$$

Данная система линейно зависима, для ее решения вводится уравнение

$$Z_{15} = 0. \quad (4)$$

фиксирующее задержку для одного счетчика.

Вычисленный таким образом максимальный разброс задержек составил 3 нс. Эта величина в основном определяется разбросом параметров ФЭУ. В дальнейшем индивидуальные задержки были скомпенсированы подбором длин кабелей.

Величины временного разрешения отдельных счетчиков

определялись по аналогичной процедуре на том же экспериментальном материале. Рассматривается сумма

$$S_{\sigma} = \sum_{i=1}^{24} \sum_{j=j_1}^{j_2} (D_{1i} + D_{2j} - D_{ij}(\Delta t))^2. \quad (5)$$

Здесь D_{1i} - дисперсия i -го счетчика в I плече, D_{2j} - дисперсия j -го счетчика во II плече, $D_{ij}(\Delta t)$ - экспериментально определенная дисперсия разности времен срабатывания данной пары счетчиков.

$$D_{ij}(\Delta t) = \frac{1}{N_{ij}} \sum_{k=1}^{N_{ij}} T_{ijk}^2 - \frac{1}{N_{ij}^2} \left(\sum_{k=1}^{N_{ij}} T_{ijk} \right)^2. \quad (6)$$

Система уравнений для вычисления дисперсий получалась дифференцированием S_{σ} по D_{nl} аналогично (3). В качестве дополнительного условия для решения системы уравнений использовано предположение, что дисперсии счетчиков в I и II плече в среднем равны.

Среднеквадратичное отклонение σ_t для времени срабатывания счетчиков приведено на рис.3. По оси абсцисс отложено σ_t , по оси ординат число счетчиков с разрешением σ_t . Среднее значение σ_t составляет 0,60 нс. Счетчики с худшим временным разрешением в дальнейшем были заменены.

Для коррекции разности времен прохождения двух частиц на время собирания света в сцинтилляторе вводилась функция $\delta t = \delta t(Y)$ зависимости времени собирания света в одном счетчике от Y -координаты попадания частицы. Считалось, что $\delta t(Y)$ одинакова для всех счетчиков и $\delta t(0)=0$. Для описания $\delta t(Y)$ использовался полином третьей степени. Коэффициенты полинома определялись на экспериментальном материале, содержащем

истинные совпадения e^+ и e^- -пар в двух плечах годоскопа. Эта информация была скорректирована на индивидуальные задержки сигналов в счетчиках, никаких ограничений на вертикальные координаты треков не вводилось. Y -координаты прохождения частиц через счетчик определялись из трековой информации спектрометра. По методу МНК аналогично (1),(5) были определены параметры полинома, описывающего $\delta t(Y)$. Найденная зависимость $\delta t(Y)$ приведена на рис.4.

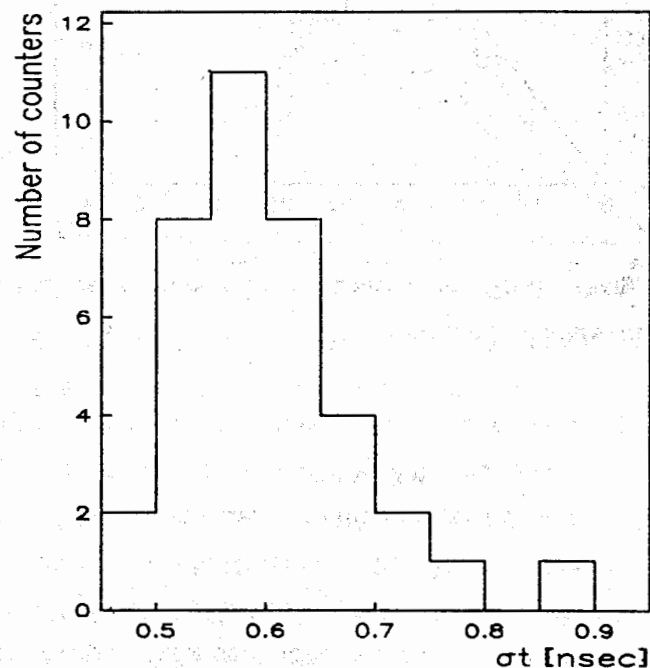


Рис.3. Временное разрешение счетчиков годоскопа. По оси абсцисс среднеквадратичное разрешение σ_t в нс, по оси ординат число счетчиков, имеющих данное разрешение.

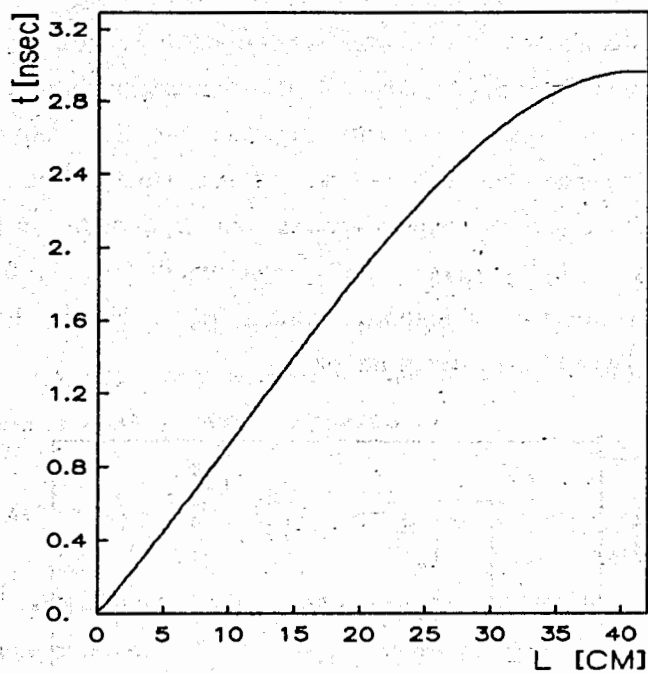


Рис.4. Вреня собирания света в счетчике в зависимости от координаты попадания частицы.

На рис.5 приведено распределение истинных совпадений e^+ и e^- по разности времен прохождения через годоскоп. Сплошная линия - исходное распределение, дисперсия $\sigma_t = 1,78$ нс. Пунктирная линия - это же распределение после введения компенсации индивидуальных задержек в счетчиках, $\sigma_t = 1,04$ нс. Штрихпунктирная линия - это же распределение после коррекции на время собирания света. После выполнения всех коррекций среднеекватратичное отклонение разности времен составляет $\sigma_t = 0,81$ нс.

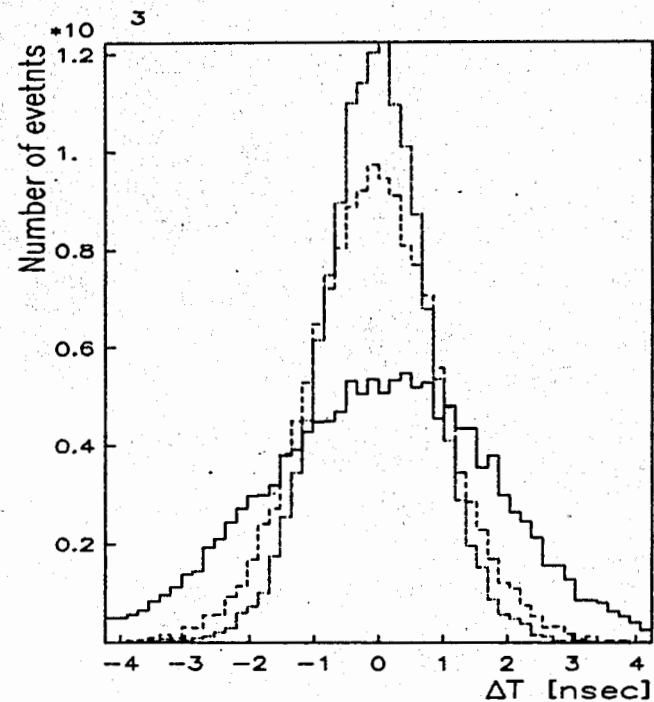


Рис.5. Распределение истинных совпадений e^+ и e^- по разности времен прохождения через годоскоп.

Заключение

Применение описанного выше годоскопа улучшило временное разрешение установки в 2 раза, что позволило обнаружить эффект резкого увеличения выхода пар $\pi^+\pi^-$ -мезонов при малых относительных импульсах [7,8].

В заключение авторы выражают благодарность Г. Д. Алексею за участие в изготовлении годоскопа и Н. А. Владимровой, В. М. Кудрявцеву, С. Г. Пластининой, В. А. Смирнову, В. Ф. Чуркиной за выполнение технических работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Неменов Л. Л. - ЯФ, 1985, т.41, с.980.
2. Афанасьев Л. Г. и др. - Сообщение ОИЯИ, P13-90-527, Дубна, 1990.
3. Бондаренко В. Г. и др. - ПТЭ, 1975, т.4, с.160.
4. Акимов Д. Ю., Самойленко В. Т. - ПТЭ, 1983, т.4, с.178.
5. Антюхов В. А. и др. - Сообщение ОИЯИ, 10-82-844, Дубна, 1982.
6. Борейко В. Ф. и др. - Сообщение ОИЯИ, P10-85-661, Дубна, 1985.
7. Афанасьев Л. Г. и др. - ЯФ, 1990, т.52, с.1046.
8. Afanasyev L. G. et al. - Phys.Lett., 1991, v.255B, p.146.

Рукопись поступила в издательский отдел

3 июня 1991 года.